

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-014666

(43)Date of publication of application : 15.01.2003

(51)Int.Cl.

G01N 23/20

G01N 23/22

(21)Application number : 2001-194893

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

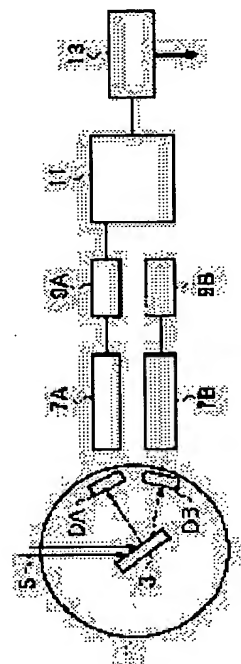
(22)Date of filing : 27.06.2001

(72)Inventor : SUZUKI MASAMICHI

(54) METHOD FOR QUANTITATIVELY ANALYZING ELEMENT, ITS COMPUTER PROGRAM AND APPARATUS THEREFOR**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for quantitatively analyzing an element with a small error in which a quantitative determination error due to a deviation of an ion irradiating content based on a sample current is corrected.

SOLUTION: The method for quantitatively analyzing the element comprises the steps of irradiating a standard sample and a sample (3) to be analyzed with an ion (5), and quantitatively determining a target element in the sample to be analyzed based on a ratio of the standard sample to the sample to be analyzed of a spectral yield to be detected by a detector (DB) according to a nuclear reaction or the ion with a target element or an elastic recoil scattering. In this case, the quantitative determination error due to the deviation of the ion irradiating content to the standard sample and the sample to be analyzed is corrected by using a ratio of the standard sample to the sample to be analyzed of a back scattering spectral yield at the time of irradiating with the ion to be detected by the detector (DA).

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

14.02.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-14666

(P2003-14666A)

(43) 公開日 平成15年1月15日 (2003.1.15)

(51) Int.Cl.⁷

G 0 1 N 23/20
23/22

識別記号

F I

G 0 1 N 23/20
23/22

テーマコード(参考)

2 G 0 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2001-194893(P2001-194893)

(22) 出願日 平成13年6月27日 (2001.6.27)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 鈴木 正道

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 100083806

弁理士 三好 秀和 (外7名)

Fターム(参考) 2G001 AA05 BA01 BA14 CA05 DA06

FA16 GA01 HA01 KA01 LA11

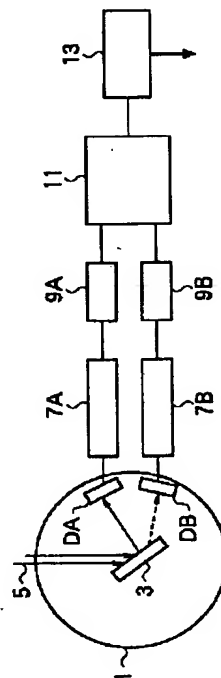
MA05 NA16

(54) 【発明の名称】 元素定量分析方法、そのコンピュータプログラム及び装置

(57) 【要約】

【課題】 試料電流に基づくイオン照射量のずれによる定量誤差が補正された誤差の小さい元素定量分析技術を提供する。

【解決手段】 標準試料及び被分析試料(3)にイオン(5)を照射し、イオンと目的元素との核反応又は弾性反跳散乱によって検出器(DB)で検出されるスペクトル収量の標準試料と被分析試料との比に基づいて被分析試料中の目的元素を定量する。この時の標準試料及び被分析試料へのイオン照射量のずれによる定量誤差を、検出器(DA)によって検出されるイオン照射時の後方散乱スペクトル収量の標準試料と被分析試料との比を用いて補正する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 標準試料及び被分析試料にイオンを照射し、該イオンと目的元素との核反応又は弾性反跳散乱によって検出されるスペクトル収量の該標準試料と該被分析試料との比に基づいて該被分析試料中の当該目的元素を定量する定量分析方法であって、上記イオンの照射時に検出される前記標準試料及び被分析試料からの後方散乱スペクトル収量間の比を用いて、該標準試料及び該被分析試料への前記イオンの照射量のずれによる定量誤差を補正することを特徴とする元素定量分析方法。

【請求項 2】 標準試料及び被分析試料にイオンを照射した時に検出される該標準試料の後方散乱スペクトル収量 A 1 及び該被分析試料の後方散乱スペクトル収量 A 2 と、上記イオンを照射した時に該イオンと目的元素との核反応又は弾性反跳散乱によって検出される該標準試料のスペクトル収量 B 1 及び該被分析試料のスペクトル収量 B 2 と、該標準試料中の該目的元素の濃度 N 1 とを取得するプログラムコードと、
後方散乱スペクトル収量 A 1 に対する A 2 の比 $A 2 / A 1$ を用いて、前記イオンの該標準試料及び該被分析試料への照射量のずれによる定量誤差を補正するための係数 k を得るプログラムコードと、
上記係数 k と、該標準試料及び該被分析試料におけるスペクトル収量 B 1 及び B 2 と、該標準試料中の該目的元素の濃度 N 1 とにより、 $N 2 = k \cdot N 1 \cdot (B 2 / B 1)$ に従って該被分析試料の当該目的元素の濃度 N 2 を得るプログラムコードとを有することを特徴とする元素定量分析コンピュータプログラム。

【請求項 3】 前記係数 k を得るプログラムコードは、前記標準試料及び前記被分析試料の母材構成成分が同じであるとき、前記補正係数 k として $1 / (A 2 / A 1)$ を得るプログラムコードと、
前記標準試料及び前記被分析試料の母材構成成分が異なるときに、該標準試料及び該被分析試料の各母材成分の後方散乱断面積値 $\sigma 1$ 、 $\sigma 2$ の比及び原子密度 U 1、U 2 の比を取得して、前記補正係数 k として $1 / [(A 2 / A 1) (\sigma 1 / \sigma 2) (U 1 / U 2)]$ を得るプログラムコードとを有することを特徴とする請求項 2 記載の元素定量分析コンピュータプログラム。

【請求項 4】 前記被分析試料中の前記目的元素に同位体元素が存在するときに、該目的元素の存在比 α を取得して、 $1 / \alpha$ と前記補正係数 k との積を該同位体元素を含む前記目的元素の定量のための新たな補正係数として得るプログラムコードを有することを特徴とする請求項 3 記載の元素定量分析コンピュータプログラム。

【請求項 5】 標準試料及び被分析試料にイオンを照射した時の該標準試料の後方散乱スペクトル収量 A 1 及び該被分析試料の後方散乱スペクトル収量 A 2 を測定するための第 1 の検出器と、
上記イオンを照射した時に該イオンと目的元素との核反

応又は弾性反跳散乱によって検出される該標準試料におけるスペクトル収量 B 1 及び該被分析試料におけるスペクトル収量 B 2 を測定するための第 2 の検出器と、
上記後方散乱スペクトル収量 A 1 に対する A 2 の比 $A 2 / A 1$ を用いて、上記イオンの該標準試料及び該被分析試料への照射量のずれによる定量誤差を補正するための係数 k を得て、該係数 k と、該標準試料及び該被分析試料における上記スペクトル収量 B 1 及び B 2 と、該標準試料中の該目的元素の濃度 N 1 とから該被分析試料の該目的元素の濃度 N 2 を、 $N 2 = k \cdot N 1 \cdot (B 2 / B 1)$ により計算する演算装置とを有することを特徴とする元素定量分析装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、イオンビームと元素との核反応又は弾性反跳散乱を利用して被分析試料中の目的元素を定量するための定量分析方法及び装置並びにコンピュータプログラムに関し、特に、シリコン半導体ウエハ等の半導体ウエハに積層された Si 膜又は Si Ge 膜中に含まれる元素の定量分析に適する確度の高い元素定量分析方法及び装置並びにコンピュータプログラムに関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体ウエハ中の元素の定量分析においては、しばしば核反応法および弾性反跳散乱分光法が用いられる。これらの定量分析方法では、通常、真空内に設置された被分析試料に MeV レベルまで加速されたイオンビームを照射し、核反応法では目的元素との核反応により発生した光子や粒子を検出し、弾性反跳散乱分光法では目的元素により弾性反跳散乱された原子を検出し、目的元素の濃度が既知である標準試料において検出されるスペクトル収量と被分析試料におけるスペクトル収量とを対比することで被分析試料における目的元素の濃度を決定する。このような手法は、特に質量数がフッ素以下の軽元素の評価に適しており、原理的には極めて高精度の高い分析手法である。

【0003】 上記の定量分析方法では、被分析試料及び標準試料に照射するイオンビームの電流量を同一にするために、イオンビーム照射中（つまり、測定中）に試料に流れる電流（試料電流）を測定して積算することによって電荷量を算出し、この電荷量に基づいてイオンビーム照射量を決定している。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、上記のような試料電流の積算によって得られる電荷量に基づいてイオンビーム照射量を決定する場合、試料の設置方法による電流検出効率の違い、ホルダーの位置による二次電子回収効率の違いなどがあると、同一試料に同量のイオンビームを照射しても試料電流から積算した電荷量は異なる。つまり、このような要素によって、試料電流から積

算した電荷量は同じであってもイオンビーム照射量が異なる場合が生じる。換言すれば、見かけのイオンビーム照射量と真のイオンビーム照射量との間にずれが生じる。このようなずれは、被分析試料と標準試料との間でのスペクトル収量の対比による目的元素の定量に誤差を生じる。更に、試料固有の伝導度の違いによっても、試料電流からの積算電荷量に相違が生じるので、見かけのイオンビーム照射量が同じであっても、実際のイオンビームの照射量が試料間でしばしば異なる。このような場合、得られる試料間でのスペクトル収量比は試料間での目的元素の濃度比を反映しないため、正確な定量分析が行われていないことになる。

【0005】本発明は、上記のような試料電流に基づく見かけのイオン照射量と実際のイオン照射量との相違による定量分析の誤差を補正することにより分析誤差の小さい定量分析が可能な定量分析技術を提供することを課題とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記課題を達成するために、本発明者らは鋭意研究を重ねた結果、目的元素を定量するためのスペクトル測定と共に試料の後方散乱スペクトルを測定することにより、イオンビーム照射量の補正が可能であることを見だし、本発明に係る元素定量分析技術を成すに至った。

【0007】本発明の一態様によれば、元素定量分析方法は、標準試料及び被分析試料にイオンを照射し、該イオンと目的元素との核反応又は弾性反跳散乱によって検出されるスペクトル収量の該標準試料と該被分析試料との比に基づいて該被分析試料中の当該目的元素を定量する定量分析方法であって、上記イオンの照射時に検出される前記標準試料及び被分析試料からの後方散乱スペクトル収量間の比を用いて、該標準試料及び該被分析試料への前記イオンの照射量のずれによる定量誤差を補正することを要旨とする。

【0008】本発明の一態様によれば、元素定量分析コンピュータプログラムは、標準試料及び被分析試料にイオンを照射した時に検出される該標準試料の後方散乱スペクトル収量A1及び該被分析試料の後方散乱スペクトル収量A2と、上記イオンを照射した時に該イオンと目的元素との核反応又は弾性反跳散乱によって検出される該標準試料のスペクトル収量B1及び該被分析試料のスペクトル収量B2と、該標準試料中の該目的元素の濃度N1とを取得するプログラムコードと、後方散乱スペクトル収量A1に対するA2の比A2/A1を用いて、前記イオンの該標準試料及び該被分析試料への照射量のずれによる定量誤差を補正するための係数kを得るプログラムコードと、上記係数kと、該標準試料及び該被分析試料におけるスペクトル収量B1及びB2と、該標準試料中の該目的元素の濃度N1とにより、 $N2 = k \cdot N1 \cdot (B2/B1)$ に従って該被分析試料の当該目的元素

の濃度N2を得るプログラムコードとを有することを要旨とする。

【0009】前記係数kを得るプログラムコードは、前記標準試料及び前記被分析試料の母材構成成分が同じであるとき、前記補正係数kとして $1/(A2/A1)$ を得るプログラムコードと、前記標準試料及び前記被分析試料の母材構成成分が異なるときに、該標準試料及び該被分析試料の各母材成分の後方散乱断面積 $\sigma1$ 、 $\sigma2$ の比及び原子密度U1、U2の比を取得して、前記補正係数kとして $1/[(A2/A1)(\sigma1/\sigma2)(U1/U2)]$ を得るプログラムコードとを有してよい。

【0010】また、前記被分析試料中の前記目的元素に同位体元素が存在するときに、該目的元素の存在比 α を取得して、 $1/\alpha$ と前記補正係数kとの積を該同位体元素を含む前記目的元素の定量のための新たな補正係数として得るプログラムコードを有してよい。

【0011】本発明の一態様によれば、元素定量分析装置は、標準試料及び被分析試料にイオンを照射した時の該標準試料の後方散乱スペクトル収量A1及び該被分析試料の後方散乱スペクトル収量A2を測定するための第1の検出器と、上記イオンを照射した時に該イオンと目的元素との核反応又は弾性反跳散乱によって検出される該標準試料におけるスペクトル収量B1及び該被分析試料におけるスペクトル収量B2を測定するための第2の検出器と、上記後方散乱スペクトル収量A1に対するA2の比A2/A1を用いて、上記イオンの該標準試料及び該被分析試料への照射量のずれによる定量誤差を補正するための係数kを得て、該係数kと、該標準試料及び該被分析試料における上記スペクトル収量B1及びB2と、該標準試料中の該目的元素の濃度N1とから該被分析試料の該目的元素の濃度N2を、 $N2 = k \cdot N1 \cdot (B2/B1)$ により計算する演算装置とを有する。

【0012】

【発明の実施の形態】核反応スペクトルまたは弾性反跳散乱スペクトル（以下、これらを定量スペクトルと称する）を用いた目的元素の定量では、既知濃度の目的元素を含有する標準試料と被分析試料とに同量のイオンビームを照射することによって、標準試料及び被分析試料で検出される定量スペクトルのスペクトル収量の比率がこれらにおける目的元素の濃度比率に等しくなり、スペクトル収量の比率から被分析試料の目的元素の濃度が導かれる。しかし、前述のように、イオン照射量を決定するために用いる試料電流（試料に流れる電流）は、実際には、試料の設置方法による電流検出効率の違い、ホルダーの位置による二次電子回収効率の違い、試料固有の伝導度の違い等によってずれを生じるため、試料電流の積算電荷量を用いてイオン照射量（見かけの照射量）が同一になるように設定しても、実際のイオン照射量は標準試料と被分析試料とで一致しない。従って、被分析試料と標準試料との対比において見かけのイオン照射量と真

のイオン照射量とのずれの補正が行われなければ、正確な定量はできない。

【0013】本発明の元素定量分析方法では、実際のイオン照射量のずれに応じた補正を行うために、上述の定量スペクトルの測定と共に後方散乱スペクトルの測定を行い、標準試料及び被分析試料の後方散乱スペクトル収量の対比によって実際のイオン照射量の比を求める。後方散乱スペクトルは、試料を構成する母材元素によるもので、例えば、試料がシリコンウエハである場合にはウ*

$$A = \sigma \cdot \Omega \cdot Q \cdot U \cdot t$$

検出角度や試料寸法が同じで、且つ、標準試料及び被測定試料の母材が同じである時には、標準試料の後方散乱スペクトル収量A1に対する被測定試料の後方散乱スペクトル収量A2の比率(=A2/A1)は、イオンビームの実際の照射量比X、つまり、標準試料のイオン照射量に対する被測定試料のイオン照射量の比率に等しく、この照射量比Xで被測定試料の定量スペクトル収量B2を除した値(=B2/X)は、イオン照射量が標準試料※

$$X = A2 / A1 \quad \dots (2)$$

$$N2 = N1 (B2' / B1) = N1 \cdot B2 / (X \cdot B1) \\ = N1 (A1 / A2) (B2 / B1) \quad \dots (3)$$

従って、照射量ずれによる定量誤差の補正は、照射量比Xの逆数1/Xを補正係数kとして、従来式: N2 = N1 (B2/B1)と補正係数との積を計算することによって行うことができる。

【0017】また、試料を構成する母材が標準試料と被分析試料とで異なる時は、その測定条件における標準試料母材元素の被分析試料母材元素に対する後方散乱断面☆

$$X' = X \cdot (\sigma 1 / \sigma 2) (U1 / U2) \\ = (A2 / A1) (\sigma 1 / \sigma 2) (U1 / U2) \quad \dots (4) \\ N2' = N1 \cdot B2 / (X' \cdot B1) \\ = N1 (A1 / A2) (\sigma 2 / \sigma 1) (U2 / U1) (B2 / B1) \quad \dots (5)$$

従って、照射量ずれによる定量誤差の補正は、照射量比X'の逆数1/X'を補正係数kとして、従来式: N2 = N1 (B2/B1)と補正係数との積を計算することによって行うことができる。

【0019】更に、目的元素に同位体が存在する場合に☆

$$N2'' = N2' / \alpha \\ = (N1 \cdot A1 \cdot \sigma 2 \cdot U2 \cdot B2) / \\ (\alpha \cdot A2 \cdot \sigma 1 \cdot U1 \cdot B1) \quad \dots (6)$$

従って、この場合には、照射量比X'の逆数と存在比αの逆数との積1/(α・X')を補正係数kとすることができる。

【0021】母材が同じであって、同位体が存在する場合には、照射量比Xの逆数と存在比αの逆数との積1/(α・X)が補正係数kとなる。

【0022】このように、標準試料及び被測定試料のイオンビーム照射量が同量である時の定量スペクトル収量に変換してイオンビーム照射量のずれを補正し、対比す

*エハを構成するシリコンによる後方散乱スペクトルが測定される。この後方散乱スペクトル収量を用いて、試料間でのイオン照射量のずれに関する補正を行う。

【0014】後方散乱スペクトル収量Aは、次式(1)のように、後方散乱断面σ、検出器立体角Ω、入射イオン総数(イオン照射量)Q、標的原子密度U、標的の厚さtによって示される。

$$\dots (1)$$

※と同量である時の被測定試料の定量スペクトル収量B2'となる。このスペクトル収量B2'の標準試料の定量スペクトル収量B1に対する割合は、標準試料の目的元素濃度N1に対する被分析試料の目的元素濃度N2の割合に等しいので、被分析試料の目的元素濃度N2が下記式(2)、(3)に従って定量される。

$$\dots (2)$$

☆積値比(σ1/σ2)及び原子密度比(U1/U2)を求め、これらの値と後方散乱スペクトル収量A1、A2とから、前記式(1)に基づいてイオン照射量の比率X'を式(4)のように求めることができ、被分析試料の目的元素濃度N2'が式(5)のように決定される。

$$\dots (3)$$

☆は、同位体の1つのみが測定されて上記目的元素濃度N2'として定量されるので、測定される同位体の存在比αを用いて全同位体の濃度N2''が算出される。従って、下記式(6)のようになる。

$$\dots (4)$$

ることによって、誤差の少ない定量が行われる。

【0023】上記のように測定データを用いて定量を行うための定量処理プログラムは、以下のように構成される。

【0024】まず、標準試料を選択して標準試料及び被分析試料の測定が行われると、標準試料の目的元素の濃度N1が入力され、更に、測定によって得られるデータ、つまり、標準試料及び被分析試料の定量スペクトル収量A1、A2、後方散乱スペクトル収量B1、B2が

演算装置に入力される。

【0025】次に、測定条件が演算装置に入力される。入力される測定条件としては、標準試料及び被分析試料の母材構成成分、入射イオンビームエネルギーなどがある。

【0026】更に、以下の判断に従って、追加データの入力が行われる。まず、試料の母材構成成分が標準試料と被分析試料とで同一か異なるかを判断し、異なる場合は母材構成元素の後方散乱断面積 σ 及び原子密度 U が入力される。更に、目的元素について同位体元素の有無を判断し、ある場合には検出される同位体元素の存在比 α が入力される。

【0027】上記の入力データを用いて、次の様なデータ処理が行われる。

【0028】母材構成成分が同一である場合は、演算装置により標準試料の後方散乱スペクトル収量を被分析試料の後方散乱スペクトル収量で除すことで、イオンビーム照射量比 X の逆数、 $1/X$ を導出し、この値を被分析試料の定量スペクトル収量（核反応スペクトル収量または弾性反跳散乱スペクトル収量） B_2 に掛けた値を出力する。この出力値を標準試料の定量スペクトル収量 B_1 で除し、入力済みの標準試料の目的元素濃度 N_1 を掛けた値が被分析試料の目的元素濃度 N_2 として最終的に出力される。これは、前記式（3）に相当する。

【0029】母材構成成分が異なる場合は、前記式（4）によるイオンビーム照射量比 X' の逆数、 $1/X'$ を導出し、前記式（5）に従って計算された目的元素濃度 N_2' が出力される。同位体がある場合は、前記式（6）に従って、存在比 α を用いて算出した全同位体の総濃度 N_2'' が出力される。

【0030】以上の定量プログラムに従って定量が行われる本発明の元素定量分析方法は、例えば、図1に示すような構成の装置によって実施することができ、その工程をフローチャートとして記載すると図2のようになる。

【0031】図1の装置は、後方散乱分光法用の検出器DAと定量スペクトル用の検出器DBとを有し、同一のチャンパー1内に配置される。定量スペクトル用の検出器DBとして核反応法もしくは弾性反跳散乱分光法用のスペクトル検出器が用いられる。チャンパー1内に設置される試料ホルダー3にイオンビーム5が照射されると、照射されている間は常に、試料の後方散乱スペクトルが検出器DAで検出され、試料からの核反応スペクトルまたは弾性反跳散乱スペクトルが検出器DBで検出される。つまり、イオンビームが試料に照射されている間は常に2種のスペクトルが検出される。検出されるスペクトルは、各々、前置増幅器7A、7B、増幅器9A、9Bを介してマルチチャンネルアナライザー11に送られてデータ処理することにより、スペクトルデータが得られる。得られたそれぞれのスペクトルデータを演算装

置13において積算処理することによりスペクトル収量を得られ、前述の定量プログラムに従って演算装置13において定量処理に用いられる。試料ホルダー3には、試料電流を測定するための電流測定器（図示省略）が備えられており、測定される試料電流の値に基づいて標準試料及び比測定試料に照射されるイオンの照射量が決定される。

【0032】検出器DA、DBは、核反応や後方散乱による生じた粒子もしくは光子を検出できるものであれば良く、エネルギー分解能が高いものが望ましい。これらの検出器のイオンビームに対する角度は、検出可能な角度であれば任意である。

【0033】本発明の元素定量分析方法の一実施形態として、シリコン母材中の元素定量分析を例に挙げて、図1のフローチャートに沿って説明する。ここでは、核反応法によってシリコン半導体ウエハに注入されたホウ素を定量する。

【0034】〔試料の測定〕まず、被分析試料と近い濃度でホウ素がシリコン基板に注入された既知の注入濃度の標準試料を選択（工程S1）する。従って、この例では標準試料と被分析試料の基板（母材）は同一である。

【0035】核反応法用の検出器DB及び後方散乱分光法用の検出器DAの両者が設置されたチャンパー1内の試料ホルダー3に標準試料および被分析試料を設置し、検出器の設定を行ってポンプによりチャンパーを 1×10^{-5} Torr以下まで真空引きをすることにより測定環境を整えた後、試料にイオンビームとしてプロトンビームを照射し、発生した核反応由来の α 粒子および後方散乱由来のプロトンをそれぞれ検出器DA、DBで検出して核反応スペクトル及び後方散乱スペクトルを測定する（工程S2）。プロトンビームの照射により試料中のホウ素に対して選択的に、次式で表される核反応： $^{11}\text{B}(p, \alpha)^8\text{Be}$ が誘起される。このときのプロトンのエネルギーは共鳴エネルギーである0.65MeVが望ましいが、核反応が誘起されるエネルギーであれば任意である。検出された粒子は、演算装置により随時カウントされる。また、ここでは試料電流を計測しながら電荷を積算し、積算値があらかじめ設定した値に達したらプロトンビームの照射を停止する。ここで設定する電荷の積算値はできるだけ高いほうが望ましい。

【0036】〔データ入力〕標準試料の濃度 N_1 が演算装置へ入力される（工程S3）。

【0037】測定によって得られるスペクトルデータの演算処理によって算出される標準試料及び被分析試料の定量スペクトル収量 A_1 、 A_2 、後方散乱スペクトル収量 B_1 、 B_2 が演算装置に取得される（工程4）。

【0038】測定条件を演算装置に入力する（工程S5）。入力される測定条件としては、標準試料及び被分析試料の母材構成成分、入射イオンビームエネルギーなどがある。

【0039】〔データ解析〕標準試料及び被分析試料の母材の構成成分が同じであるか否かを判断し（工程 S 6）、同じであれば、目的元素の同位体が試料中に有るか否かを判断する（工程 S 7）。工程 S 6において母材の構成成分が同じでなければ、標準試料及び被分析試料の母材の構成成分の後方散乱断面積及び原子密度が入力されて後方散乱断面積比及び原子密度比が演算装置によって計算され（工程 S 8）、この後に工程 S 7を行う。工程 S 7において、目的元素について同位体元素がなければ、被分析試料の目的元素の定量計算を行う（工程 S 9）。工程 S 7において同位体元素がある場合には、測定で検出される同位体元素の存在比 α が入力され（工程 S 10）、工程 S 9を行う。

【0040】工程 S 9では、標準試料及び被分析試料の定量スペクトル収量 A 1、A 2 から $A 2 / A 1$ を計算して、実際に照射されたプロトンビームの標準試料に対する被分析試料の照射量比 X が導出される。被分析試料の核反応スペクトル収量 B 2 に X の逆数 $1 / X$ を掛けることにより、ビーム照射量を標準試料と同量に補正した条件での核反応スペクトル収量 $B 2' = B 2 / X$ が得られる。さらに、この $B 2 / X$ を標準試料の核反応スペクトル収量 B 1 で除すことにより、標準試料に対する被分析試料の濃度比 Y が得られる。そして、この Y に標準試料の濃度である N 1 を掛け、最終的に被分析試料の濃度として N 2 を出力する（工程 S 11）。このときの濃度は、面濃度、体積濃度またはイオン注入ドーズ量のいずれでも良い。

【0041】上記の方法において、母材の構成成分が異なる場合には、工程 S 8において入力される値から計算される比を用いて、前記式（5）により被分析試料の目的元素の定量値が算出され出力される。

【0042】また、上記の方法はホウ素の同位体元素 ^{11}B の面濃度を算出する方法であるが、他の同位体、例えば ^{10}B が被分析試料に含まれており、その同位体存在比が天然同位体存在比と同じであることが判っている場合は、その同位体比が工程 S 10においてあらかじめ演算装置に入力され、前記式（6）に従って被分析試料の目的元素の定量値が算出され出力される。

【0043】

【実施例】以下、実施例及び比較例を参照して、本発明をさらに詳細に説明する。

【0044】（実施例 1）核反応法によるホウ素の定量分析

8 インチのシリコン半導体ウエハに膜厚 5 nm の SiO_2 膜を成膜し、この SiO_2 膜中に 0.2 keV のエネルギーで、およそ $1.0 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ のドーズ量をねらって ^{11}B をイオン注入した試料を準備した。この ^{11}B イオンを注入したシリコンウエハの中央部をダイヤモンドカッターを用いて約 $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ に切断した。この後、切削屑を取り除くために 2 片の試料に対して窒素ブローを

行った。

【0045】また、標準試料として、シリコン半導体ウエハの表面に 5 keV のエネルギーで $1.00 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ のドーズ量で ^{11}B が注入してある標準試料を用意し、同様に約 $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ に切断して切削屑を取り除いた。

【0046】切り出された 1 cm 角の被分析試料および標準試料を核反応分析チャンパー内に配置し、同チャンパーを真空ポンプにより $1 \times 10^{-6} \text{ Torr}$ になるまで真空引きをした。次に、タンデム型加速器により 0.65 MeV に加速されたプロトンビームを標準試料に照射すると、試料中に含まれる ^{11}B の一部とプロトンにより核反応が誘起され、 α 粒子が試料外へ放出された。また、同時に、照射されたプロトンの一部は基板を構成する Si 原子との弾性散乱により後方散乱された。核反応により放出された α 粒子は、入射イオンビームに対して 160° の位置に設置された半導体検出器により検出し、後方散乱されたプロトンはイオンビームに対して 150° の位置に設置された半導体検出器によりそれぞれ検出された。また、これらの検出器と試料との距離は 8 cm とした。試料電流を測定し、その電荷量が $50 \mu\text{C}$ （マイクロクーロン）になったところでイオンビームの照射を停止した。被分析試料に対しても上記と同じ条件で測定を行った。

【0047】標準試料及び被分析試料の後方散乱スペクトルは図 3 のようであった。両試料の共通のピークであるシリコン基板からのピークのうち、 $100 \sim 200$ チャネルのカウントを演算装置によって計算したところ、標準試料で 48325 カウント、被分析試料で 47228 カウントとなった。さらに、これらの値から、実際に照射された電荷量の標準試料に対する被分析試料の比は 0.977 と導出された。標準試料と被分析試料の核反応スペクトルは図 4 のようであった。同様に、演算装置によって $100 \sim 300$ チャネルのカウントを計算したところ、標準試料で 1642 カウント、被分析試料で 1570 カウントとなった。これらの値と上記で得られた値 0.977 から、標準試料に対する被分析試料のドーズ量比は 0.979 と出力された。この値に標準試料のドーズ量 $1.00 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ を掛けることで、最終的に被分析試料の ^{11}B のドーズ量は $9.79 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ と出力された。

【0048】（比較例 1）従来法による定量
実施例 1 の測定結果について、従来法によって図 4 の核反応スペクトルのみで定量評価を行った。

【0049】標準試料の 1642 カウント、被分析試料の 1570 カウントおよび標準試料の既知濃度 $1.00 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ から、被分析試料の濃度は $(1570 \text{ カウント} / 1642 \text{ カウント}) \times 1.00 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ の計算により、 $9.56 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ となる。この値は、図 3 の後方散乱スペクトルにみられるように、両試

料の実際のイオンビーム照射量のずれによって真値との誤差が含まれることが明らかである。

【0050】(実施例2) 弾性反跳散乱分光法による窒化珪素膜中の水素の定量分析

シリコン半導体ウエハに膜厚20nmの窒化珪素(SiN)膜を成膜したウエハ試料を準備した。このシリコンウエハの中央部をダイヤモンドカッターを用いて約1cm×4cmに切断した。この後、切削屑を取り除くために2片の試料に対して窒素ブローを行った。

【0051】また、標準試料として、シリコン半導体ウエハに膜厚20nmの窒化珪素膜を成膜してあるもので、その膜中に $5.00 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ の面濃度で水素が含まれる試料を用意した。切り出された被分析試料および標準試料を弾性反跳散乱分光法用分析チャンバー内に配置し、同チャンバーを真空ポンプにより 1×10^{-6} Torrになるまで真空引きをした。次に、タンデム型加速器により2.4MeVに加速されたヘリウムイオン(He^{++})ビームを標準試料に照射すると、試料中に含まれる水素と入射ヘリウムイオンとの弾性反跳散乱によって水素は試料外へ放出された。また、同時にヘリウムイオンビームの一部は基板を構成する珪素原子との弾性散乱により後方散乱された。また、同時に、照射されたヘリウムイオンの一部は基板を構成する珪素原子との弾性散乱により後方散乱された。弾性反跳散乱により放出された水素原子は、入射イオンビームに対して 20° の位置に設置された半導体検出器によって検出し、そこでは後方散乱されるヘリウムイオンが検出器に入射するのを防ぐために検出器前方に $10\mu\text{m}$ のマイラー膜を設置した。また、後方散乱されたプロトンはイオンビームに対して 160° の位置に設置された半導体検出器により検出した。また、これらの検出器と試料との距離は8cmとした。試料電流を測定してその電荷量が $30\mu\text{C}$ (マイクロクーロン)になったところでイオンビームの照射を停止した。また、被分析試料に対しても上記と同じ条件で測定を行った。

【0052】標準試料と被分析試料の後方散乱スペクトルを図5のようになった。両試料の共通のピークであるシリコン基板からのピークのうち、 $150 \sim 250$ チャンネルのカウントを演算装置によって計算したところ、標準試料で548547カウント、被分析試料で519938カウントとなった。さらに、これらの値から、実際に照射された電荷量の標準試料に対する被分析試料の比は0.948と導出された。標準試料と被分析試料の弾性反跳散乱スペクトルは図6のようになった。同様に、演算装置によって $180 \sim 220$ チャンネルのカウントを計算したところ、標準試料で8317カウント、被分析試料で5836カウントとなった。これらの値と上記で得られた値0.948から、標準試料に対する被分析試料のドーパ量比は0.740と出力された。この値に標準試料の水素面濃度 $5.00 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ を掛

けることで、最終的に被分析試料の水素面濃度は $3.70 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ と出力された。

【0053】(比較例2) 従来法による定量
実施例2の測定結果について、従来法によって図6の弾性反跳散乱スペクトルのみで定量評価を行った。

【0054】標準試料の8317カウント、被分析試料の5836カウントおよび標準試料の既知面濃度 $5.00 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ から、被分析試料の水素面濃度は、 $(5836 \text{ カウント} / 8317 \text{ カウント}) \times 5.00 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ の計算により、 $3.51 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ となる。この値は、図5の後方散乱スペクトルにみられるように、両試料の実際のイオンビーム照射量のずれによって真値との誤差が含まれることが明らかである。

【0055】(実施例3) 同位体を含む試料の定量分析

核反応法によるホウ素の定量分析において、標準試料と異なる母材中に天然存在比でホウ素の同位体 ^{10}B を含む試料について

被分析試料として、Ge半導体ウエハ中にホウ素が表面から $2\mu\text{m}$ の深さに均一な濃度で存在し、且つ、天然存在比で同位体 ^{10}B を含むものを用意した。また、標準試料としてシリコン半導体ウエハ中に ^{11}B が表面から $2\mu\text{m}$ の深さに均一に原子比1.00%の濃度で存在しているものを用意した。

【0056】測定は、入射エネルギーを1.0MeVで行った以外は、実施例1と同じ条件で行った。測定の後、測定条件及び試料条件として、シリコン及びゲルマニウムの各々の原子密度 $U_{\text{Si}} = 5.00 \times 10^{22} \text{ atoms}/\text{cm}^3$ 、 $U_{\text{Ge}} = 4.42 \times 10^{22} \text{ atoms}/\text{cm}^3$ 、入射エネルギー=1.0MeV、検出角 150° における1MeVのプロトンに対するシリコン及びゲルマニウムの各々の後方散乱断面積 $\sigma_{\text{Si}} = 0.2909 \text{ barns}$ 、 $\sigma_{\text{Ge}} = 1.523 \text{ barns}$ を入力した。更に、標準試料及び被分析試料について測定データから、表面から5.0nmまでの後方散乱スペクトル収量 $A_{\text{Si}} = 1305 \text{ カウント}$ 、 $A_{\text{Ge}} = 5439 \text{ カウント}$ が算出され、母材からの後方散乱スペクトル収量によるイオンビーム照射量のずれの補正を行った。この際、被分析試料に対する標準試料のイオンビーム照射量比Xは、下記の式に従って、シリコン及びゲルマニウムの各々の原子密度 U_{Si} 、 U_{Ge} 、後方散乱断面積 σ_{Si} 、 σ_{Ge} 及び後方散乱スペクトル収量 A_{Si} 、 A_{Ge} により算出される値とした。

【0057】

$$X = (A_{\text{Si}} \cdot \sigma_{\text{Ge}} \cdot U_{\text{Ge}}) / (A_{\text{Ge}} \cdot \sigma_{\text{Si}} \cdot U_{\text{Si}})$$

この結果、 $X = 1.11$ が出力された。他方、標準試料及び被分析試料の核反応スペクトル収量 B_{Si} 、 B_{Ge} は、測定データから、各々、 $B_{\text{Si}} = 892 \text{ カウント}$ 、 $B_{\text{Ge}} = 731 \text{ カウント}$ と算出され、被分析試料に含まれる ^{11}B の濃度は、 $(731 \text{ カウント} / 892 \text{ カウント}) \times 1.11 \times 1.00\% = 0.91\%$ と算出された。この値が

ら、更に ^{11}B の天然存在比 $\alpha = 0.81$ を用いて、 $0.91\% / \alpha$ を計算することにより、最終的に被分析試料のホウ素濃度が 1.12% と定量された。

【0058】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の構成によれば、イオン照射量のずれの補正により誤差の少ない定量を可能とするものであり、従来困難であった半導体ウエハ中の元素定量分析を極めて高い精度で行うことができる。

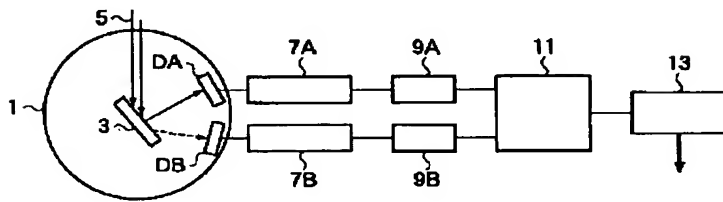
【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の元素定量分析装置の一実施形態を示す概略構成図。

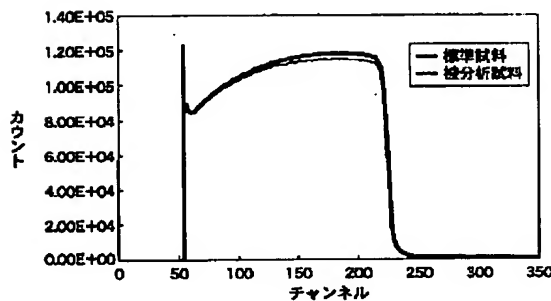
【図2】本発明の元素定量分析方法の一実施形態を示すフローチャート。

【図3】本発明の元素定量分析方法の一実施形態における標準試料および被分析試料の後方散乱スペクトルを示す

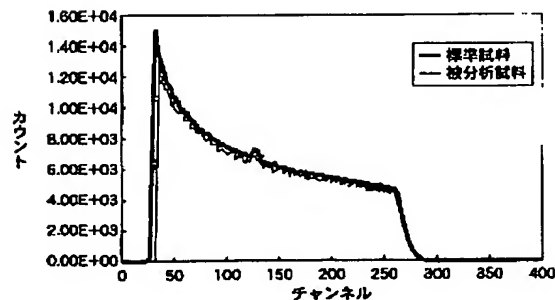
【図1】



【図3】



【図5】



すスペクトル図。

【図4】図3の後方散乱スペクトルが得られる標準試料および被分析試料の核反応スペクトルを示すスペクトル図。

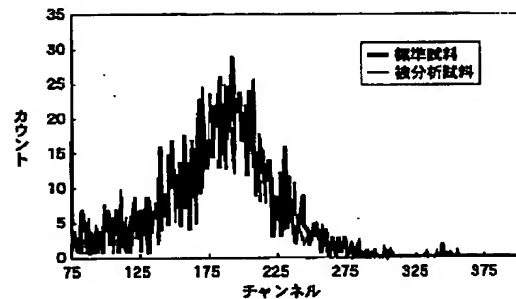
【図5】本発明の元素定量分析方法の他の実施形態における標準試料および被分析試料の後方散乱スペクトルを示すスペクトル図。

【図6】図5の後方散乱スペクトルが得られる標準試料および被分析試料の弾性反跳散乱スペクトルを示すスペクトル図。

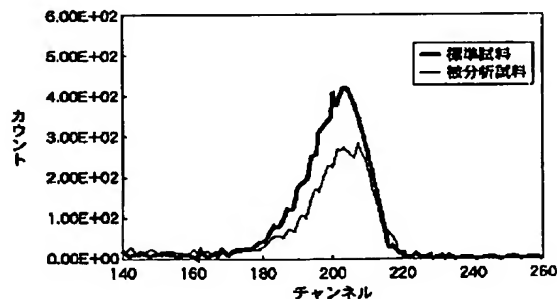
【符号の説明】

1 試料チャンバ、 3 試料ホルダー、 5 イオンビーム、 DA、 DB 検出器、 7A、 7B 前置増幅器、 9A、 9B 増幅器、 11 マルチチャンネルアナライザー、 13 演算装置

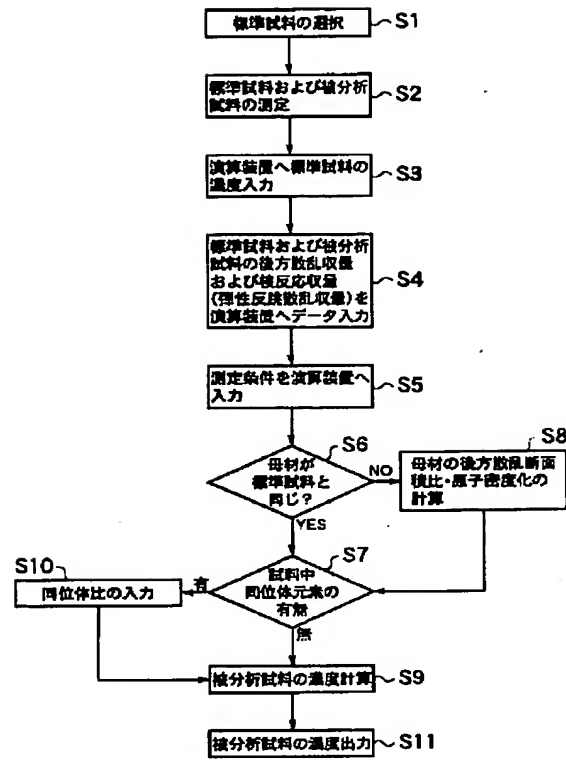
【図4】



【図6】



【図 2】



*** NOTICES ***

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS**[Claim(s)]**

[Claim 1] It is the quantitative-analysis approach which carries out the quantum of the specified element concerned in this test sample for chemical analysis-ed based on the ratio of the this standard sample of spectrum yield and this test sample for chemical analysis-ed which irradiate ion at a standard sample and a test sample for chemical analysis-ed, and are detected by the nuclear reaction of this ion and a specified element, or elastic recoil dispersion. The element quantitative-analysis approach characterized by amending the quantum error by gap of the exposure of said ion to this standard sample and this test sample for chemical analysis-ed using the ratio between the backscattering spectrum yield from said standard sample detected at the time of the exposure of the above-mentioned ion, and a test sample for chemical analysis-ed.

[Claim 2] The backscattering spectrum yield A1 of this standard sample detected when ion is irradiated at a standard sample and a test sample for chemical analysis-ed, and the backscattering spectrum yield A2 of this test sample for chemical analysis-ed, The spectrum yield B1 of this standard sample detected by the nuclear reaction of this ion and a specified element, or elastic recoil dispersion when the above-mentioned ion is irradiated, and spectrum yield B-2 of this test sample for chemical analysis-ed, The program code which acquires the concentration N1 of this specified element in this standard sample, The program code which obtains the multiplier k for amending the quantum error by gap of the exposure to this standard sample and this test sample for chemical analysis-ed of said ion using the ratios $A2/A1$ of A2 to the backscattering spectrum yield A1, With the spectrum yield B1 and B-2 in the above-mentioned multiplier k, this standard sample, and this test sample for chemical analysis-ed, and the concentration N1 of this specified element in this standard sample The element quantitative-analysis computer program characterized by having the program code which obtains the concentration N2 of the specified element of this test sample for chemical analysis-ed concerned according to $N2=k \cdot N1 \cdot (B-2 / B1)$.

[Claim 3] When the program code which obtains said multiplier k has the the same base material constituent of said standard sample and said test sample for chemical analysis-ed, When the base material constituent of said standard sample and said test sample for chemical analysis-ed differs from the program code which obtains $1/(A2/A1)$ as said correction factor k The ratio of the backscattering cross-section values σ_1 and σ_2 of each base material component of this standard sample and this test sample for chemical analysis-ed and the ratio of the atomic consistencies U1 and U2 are acquired. The element quantitative-analysis computer program according to claim 2 characterized by having the program code which obtains $1/[(A2/A1) (\sigma_1/\sigma_2) (U1/U2)]$ as said correction factor k.

[Claim 4] The element quantitative-analysis computer program according to claim 3 characterized by acquiring the abundance ratio α of this specified element, and having the program code which obtains the product of $1/\alpha$ and said correction factor k as a new correction factor for the quantum of said specified element containing this isotope when an isotope exists in said specified element in said test sample for chemical analysis-ed.

[Claim 5] The 1st detector for measuring the backscattering spectrum yield A1 of this standard sample when irradiating ion, and the backscattering spectrum yield A2 of this test sample for chemical analysis-ed to a standard sample and a test sample for chemical analysis-ed, The 2nd detector for measuring the spectrum yield B1 in this standard sample detected by the nuclear reaction of this ion and a specified element, or elastic recoil dispersion when the above-mentioned ion is irradiated, and spectrum yield B-2 in this test sample for chemical analysis-ed, The multiplier k for amending the quantum error by gap of the exposure to this standard sample and this test sample for chemical analysis-ed of the above-mentioned ion is obtained using the ratios $A2/A1$ of A2 to the above-mentioned backscattering spectrum yield A1. This multiplier k The above-mentioned spectrum yield B1 and B-2 in this standard sample and this test sample for chemical analysis-ed, Element quantitative-analysis equipment characterized by having the arithmetic unit which calculates the concentration N2 of this specified element of this test sample for chemical analysis-ed by $N2=k \cdot N1 \cdot (B-$

2 / B1) from the concentration N1 of this specified element in this standard sample.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION**[Detailed Description of the Invention]**

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the highly accurate element quantitative-analysis approach and equipment list suitable for the quantitative analysis of the element contained in Si film by which the laminating was especially carried out to semi-conductor wafers, such as a silicon semi-conductor wafer, about the computer program at the quantitative-analysis approach for carrying out the quantum of the specified element in a test sample for chemical analysis-ed using the nuclear reaction of an ion beam and an element, or elastic recoil dispersion, and the equipment list, or the SiGe film at a computer program.

[0002]

[Description of the Prior Art] In the quantitative analysis of the element in a semi-conductor wafer, a nuclear reaction method and elastic recoil dispersion spectroscopy are often used. By these quantitative-analysis approaches, the ion beam accelerated to MeV level by the test sample for chemical analysis-ed installed in the vacuum is usually irradiated. The photon and particle which were generated by the nuclear reaction with a specified element by the nuclear reaction method are detected. At elastic recoil dispersion spectroscopy, the concentration of the specified element in a test sample for chemical analysis-ed is determined by contrasting the spectrum yield which detects the atom by which elastic recoil dispersion was carried out with the specified element, and is detected in the standard sample whose concentration of a specified element is known, and the spectrum yield in a test sample for chemical analysis-ed. The mass number is suitable for evaluation of the light element below a fluorine, and such technique especially is tools of analysis with a quantum precision high theoretic very.

[0003] By the above-mentioned quantitative-analysis approach, in order to make the same the amount of currents of the ion beam which irradiates a test sample for chemical analysis-ed and a standard substance, by measuring and integrating the current (specimen current) which flows in a sample during an ion beam exposure (that is, under measurement), the amount of charges was computed and the ion beam exposure is determined based on this amount of charges.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, when determining an ion beam exposure based on the amount of charges obtained by the addition of the above specimen current and there are a difference in the current detection efficiency by the installation approach of a sample, a difference in the secondary electron recovery effectiveness by the location of an electrode holder, etc., even if it irradiates the ion beam of tales doses at the same sample, the amounts of charges integrated from specimen current differ. That is, with such an element, even if the amount of charges integrated from specimen current is the same, the case where ion beam exposures differ produces it. If it puts in another way, a gap will arise between an apparent ion beam dose and a true ion beam dose. Such a gap produces an error in the quantum of the specified element by contrast of the spectrum yield between a test sample for chemical analysis-ed and a standard sample. Furthermore, also with differences in the conductivity of a sample proper, since a difference arises from specimen current to the amount of addition charges, even if an apparent ion beam dose is the same, the dose of an actual ion beam often changes between samples. In such a case, since the spectrum yield ratio between the samples obtained does not reflect the ratio of concentration of the specified element between samples, exact quantitative analysis will be carried out.

[0005] This invention makes it a technical problem to offer the quantitative-analysis technique in which quantitative analysis with a small analytical error is possible by amending the error of the quantitative analysis by the difference with the amount of ion irradiation of the appearance based on the above specimen current, and the actual amount of ion irradiation.

[0006]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned technical problem, as a result of repeating research wholeheartedly, by measuring the backscattering spectrum of a sample with the spectrum measurement for carrying out the quantum of the specified element, this invention persons find out that amendment of an ion beam exposure is possible, and came to accomplish the element quantitative-analysis technique concerning this invention. [0007] If this invention is caused like 1 voice, the element quantitative-analysis approach It is the quantitative-analysis approach which carries out the quantum of the specified element concerned in this test sample for chemical analysis-ed based on the ratio of the this standard sample of spectrum yield and this test sample for chemical analysis-ed which irradiate ion at a standard sample and a test sample for chemical analysis-ed, and are detected by the nuclear reaction of this ion and a specified element, or elastic recoil dispersion. Let it be a summary to amend the quantum error by gap of the exposure of said ion to this standard sample and this test sample for chemical analysis-ed using the ratio between the backscattering spectrum yield from said standard sample detected at the time of the exposure of the above-mentioned ion, and a test sample for chemical analysis-ed.

[0008] If this invention is caused like 1 voice, an element quantitative-analysis computer program The backscattering spectrum yield A1 of this standard sample detected when ion is irradiated at a standard sample and a test sample for chemical analysis-ed, and the backscattering spectrum yield A2 of this test sample for chemical analysis-ed, The spectrum yield B1 of this standard sample detected by the nuclear reaction of this ion and a specified element, or elastic recoil dispersion when the above-mentioned ion is irradiated, and spectrum yield B-2 of this test sample for chemical analysis-ed, The program code which acquires the concentration N1 of this specified element in this standard sample, The program code which obtains the multiplier k for amending the quantum error by gap of the exposure to this standard sample and this test sample for chemical analysis-ed of said ion using the ratios $A2/A1$ of A2 to the backscattering spectrum yield A1, With the spectrum yield B1 and B-2 in the above-mentioned multiplier k, this standard sample, and this test sample for chemical analysis-ed, and the concentration N1 of this specified element in this standard sample Let it be a summary to have the program code which obtains the concentration N2 of the specified element of this test sample for chemical analysis-ed concerned according to $N2=k \cdot N1 \cdot (B-2 / B1)$.

[0009] When the program code which obtains said multiplier k has the the same base material constituent of said standard sample and said test sample for chemical analysis-ed, When the base material constituent of said standard sample and said test sample for chemical analysis-ed differs from the program code which obtains $1/(A2/A1)$ as said correction factor k The ratio of the backscattering cross-section values σ_1 and σ_2 of each base material component of this standard sample and this test sample for chemical analysis-ed and the ratio of the atomic consistencies U_1 and U_2 may be acquired, and you may have the program code which obtains $1/[(A2/A1) (\sigma_1/\sigma_2) (U_1/U_2)]$ as said correction factor k.

[0010] Moreover, when an isotope exists in said specified element in said test sample for chemical analysis-ed, the abundance ratio α of this specified element may be acquired, and you may have the program code which obtains the product of $1/\alpha$ and said correction factor k as a new correction factor for the quantum of said specified element containing this isotope.

[0011] If this invention is caused like 1 voice, element quantitative-analysis equipment The 1st detector for measuring the backscattering spectrum yield A1 of this standard sample when irradiating ion, and the backscattering spectrum yield A2 of this test sample for chemical analysis-ed to a standard sample and a test sample for chemical analysis-ed, The 2nd detector for measuring the spectrum yield B1 in this standard sample detected by the nuclear reaction of this ion and a specified element, or elastic recoil dispersion when the above-mentioned ion is irradiated, and spectrum yield B-2 in this test sample for chemical analysis-ed, The multiplier k for amending the quantum error by gap of the exposure to this standard sample and this test sample for chemical analysis-ed of the above-mentioned ion is obtained using the ratios $A2/A1$ of A2 to the above-mentioned backscattering spectrum yield A1. This multiplier k It has the arithmetic unit which calculates the concentration N2 of this specified element of this test sample for chemical analysis-ed by $N2=k \cdot N1 \cdot (B-2 / B1)$ from the above-mentioned spectrum yield B1 and B-2 in this standard sample and this test sample for chemical analysis-ed, and the concentration N1 of this specified element in this standard sample.

[0012]

[Embodiment of the Invention] In the quantum of the specified element using a nuclear reaction spectrum or an elastic recoil scattered spectrum (these are hereafter called a quantum spectrum), by irradiating the ion beam of tales doses at the standard substance and the test sample for chemical analysis-ed containing the specified element of known concentration, the ratio of the spectrum yield of the quantum spectrum detected by the standard substance and the test sample for chemical analysis-ed becomes equal to the rate of the ratio of concentration of the specified element in these, and the concentration of the specified element of a test sample for chemical analysis-ed is drawn from the ratio of spectrum yield. However, the specimen current (current which flows in a sample) used as mentioned above in order to

determine the amount of ion irradiation Since a gap is produced in fact by the difference in the current detection efficiency by the installation approach of a sample, the difference in the secondary electron recovery effectiveness by the location of an electrode holder, the difference in the conductivity of a sample proper, etc., Even if it sets up so that the amount of ion irradiation (apparent exposure) may become the same using the amount of addition charges of specimen current, the actual amount of ion irradiation is not in agreement by the standard sample and the test sample for chemical analysis-ed. Therefore, an exact quantum is not made if amendment of the gap with the apparent amount of ion irradiation and the true amount of ion irradiation is not performed in contrast with a test sample for chemical analysis-ed and a standard sample.

[0013] By the element quantitative-analysis approach of this invention, in order to perform amendment according to a gap of the actual amount of ion irradiation, a backscattering spectrum is measured with measurement of an above-mentioned quantum spectrum, and it asks for the ratio of the actual amount of ion irradiation by contrast of the backscattering spectrum yield of a standard sample and a test sample for chemical analysis-ed. A backscattering spectrum is based on the base material element which constitutes a sample, and when a sample is [for example,] a silicon wafer, the backscattering spectrum by the silicon which constitutes a wafer is measured. Amendment about a gap of the amount of ion irradiation between samples is performed using this backscattering spectrum yield.

[0014] The backscattering spectrum yield A is shown by the backscattering cross section σ , the detector solid angle ω , the incidence ion total (the amount of ion irradiation) Q, the atomic label consistency U, and label thickness t like a degree type (1).

[0015]

$$A = \sigma \cdot \omega \cdot Q \cdot U \cdot t \quad (1)$$

Similarly [a detection include angle or a sample dimension], when the base material of a standard sample and a device under test is the same The ratio ($= A_2/A_1$) of the backscattering spectrum yield A_2 of the device under test to the backscattering spectrum yield A_1 of a standard sample Are equal to the ratio of the amount of ion irradiation of the device under test to the actual exposure ratio X of ion irradiation of an ion beam, i.e., the amount of a standard sample. The value ($= B_2/X$) which B_2 quantum spectrum yield of a device under test by this exposure ratio X becomes quantum spectrum yield B_2' of a device under test in case the amounts of ion irradiation are a standard sample and tales doses. Since the rate to the quantum spectrum yield B_1 of the standard sample of this spectrum yield B_2' is equal to the rate of the specified element concentration N_2 of a test sample for chemical analysis-ed to the specified element concentration N_1 of a standard sample, according to the following formula (2) and (3), the quantum of the specified element concentration N_2 of a test sample for chemical analysis-ed is carried out.

[0016]

$$X = A_2 / A_1 \quad (2)$$

$$N_2 = N_1 (B_2' / B_1) = N_1 \text{ and } B_2 / (X \cdot B_1)$$

$$= N_1 (B_2 / B_1) (A_1 / A_2) \quad (3)$$

Therefore, amendment of the quantum error by exposure gap can be performed by calculating the product of formula: $N_2 = N_1 (B_2 / B_1)$ and a correction factor conventionally by making inverse number $1 / X$ of the exposure ratio X into a correction factor k.

[0017] Moreover, when the base materials which constitute a sample differ by the standard sample and the test sample for chemical analysis-ed It asks for the backscattering cross-section value ratio (σ_1/σ_2) to a test-sample-for-chemical-analysis-ed base material element and the atomic density ratio (U_1/U_2) of the standard sample base material element in the Measuring condition. From these values and the backscattering spectrum yield A_1 and A_2 , based on said formula (1), it can ask for ratio X' of the amount of ion irradiation like a formula (4), and specified element concentration N_2' of a test sample for chemical analysis-ed is determined like a formula (5).

[0018]

$$X' = X \cdot (\sigma_1/\sigma_2) (U_1/U_2)$$

$$= A_2/A_1 (U_1/U_2) (\sigma_1/\sigma_2) \quad (4)$$

$$N_2' = N_1 \text{ and } B_2 / (X', B_1)$$

$$= N_1 (\sigma_2/\sigma_1) (U_2/U_1) (A_1/A_2) (B_2 / B_1)$$

-- (5)

Therefore, amendment of the quantum error by exposure gap can be performed by calculating the product of formula: $N_2 = N_1 (B_2 / B_1)$ and a correction factor conventionally by making inverse number $1 / X'$ of exposure ratio X' into a correction factor k.

[0019] Furthermore, since only one of the isotopes is measured and a quantum is carried out as above-mentioned specified element concentration N_2' when an isotope exists in a specified element, concentration N_2'' of all isotopes is

computed using the abundance ratio α of the isotope measured. Therefore, it becomes like the following type (6).

[0020]

$$N2'' = N2' / \alpha = (N1, A1, \sigma_2, U2, \text{ and } B-2) / (\alpha - A_2 \text{ and } \sigma_1, U1, B1) \text{ -- (6)}$$

Therefore, product $1/(\alpha - X')$ of the inverse number of exposure ratio X' and the inverse number of an abundance ratio α can be made into a correction factor k in this case.

[0021] When a base material is the same and an isotope exists, $1/(\alpha - X)$ of products of the inverse number of the exposure ratio X and the inverse number of an abundance ratio α serves as a correction factor k .

[0022] Thus, a quantum with few errors is performed by changing into quantum spectrum yield in case the ion beam dose of a standard substance and a device under test is taken doses, and amending and contrasting a gap of an ion beam dose.

[0023] The quantum processing program for performing a quantum using measurement data as mentioned above is constituted as follows.

[0024] First, if a standard sample is chosen and measurement of a standard sample and a test sample for chemical analysis-ed is performed, the concentration $N1$ of the specified element of a standard sample will be inputted, and the quantum spectrum yield $A1$ and $A2$ of the data obtained by measurement, i.e., a standard sample, and a test sample for chemical analysis-ed, the backscattering spectrum yield $B1$, and $B-2$ will be further inputted into an arithmetic unit.

[0025] Next, a Measuring condition is inputted into an arithmetic unit. As a Measuring condition inputted, there are a base material constituent of a standard substance and a test sample for chemical analysis-ed, incidence ion beam energy, etc.

[0026] Furthermore, the input of additional data is performed according to the following decision. First, the base material constituent of a sample judges whether it is the same or it differs by the standard sample and the test sample for chemical analysis-ed, and when it differs, the backscattering cross section σ of a base material configuration element and the atomic consistency U are inputted. Furthermore, the existence of an isotope is judged about a specified element and, in a certain case, the abundance ratio α of the isotope detected is inputted.

[0027] The following data processing is performed using the above-mentioned input data.

[0028] case a base material constituent is the same -- an arithmetic unit -- the backscattering spectrum yield of a standard sample -- the backscattering spectrum yield of a test sample for chemical analysis-ed -- **** -- it is things, and the inverse number of the ion beam exposure ratio X , and $1/X$ are drawn, and the value which applied this value to quantum spectrum yield (nuclear reaction spectrum yield or elastic recoil scattered-spectrum yield) $B-2$ of a test sample for chemical analysis-ed is outputted. This output value is \times (ed) with the quantum spectrum yield $B1$ of a standard sample, and, finally the value which applied the specified element concentration $N1$ of a standard sample [finishing / an input] is outputted as specified element concentration $N2$ of a test sample for chemical analysis-ed. This is equivalent to said formula (3).

[0029] a base material -- a constituent -- differing -- a case -- said -- a formula -- (-- four --) -- depending -- an ion beam -- an exposure -- a ratio -- X -- ' -- the inverse number -- one -- $1/X$ -- ' -- drawing -- said -- a formula -- (-- five --) -- following -- calculating -- having had -- a specified element -- concentration -- N -- two -- ' -- outputting -- having . an isotope -- it is -- a case -- said -- a formula -- (-- six --) -- following -- an abundance ratio -- α -- using -- having computed -- all -- an isotope -- the total -- concentration -- N -- two -- " -- outputting -- having .

[0030] The element quantitative-analysis approach of this invention that a quantum is performed according to the above quantum program can be enforced with the equipment of a configuration as shown in drawing 1 , and if the process is indicated as a flow chart, it will become like drawing 2 .

[0031] The equipment of drawing 1 has the detector DA for back scattering spectroscopy, and the detector DB for quantum spectrums, and is arranged in the same chamber 1. The spectrum detector for a nuclear reaction method or elastic recoil dispersion spectroscopy is used as a detector DB for quantum spectrums. Whenever an ion beam 5 is irradiated by the sample electrode holder 3 installed in a chamber 1, while irradiating, the backscattering spectrum of a sample is detected by Detector DA and the nuclear reaction spectrum or elastic recoil scattered spectrum from a sample is detected by Detector DB. That is, while the ion beam is irradiated by the sample, two sorts of spectrums are always detected. Spectrum data are obtained by sending the spectrum detected to a multi-channel analyzer 11 respectively through Preamps 7A and 7B and Amplifiers 9A and 9B, and carrying out data processing. By carrying out addition processing of each obtained spectrum data in an arithmetic unit 13, spectrum yield is obtained and it is used for quantum processing in an arithmetic unit 13 according to the above-mentioned quantum program. the value of the specimen current which the sample electrode holder 3 is equipped with the amperometry machine (illustration abbreviation) for measuring specimen current, and is measured -- being based -- a standard sample and a ratio -- the exposure of the ion irradiated by the test portion is determined.

[0032] As for Detectors DA and DB, what has high energy resolution is [that what is necessary is just what can detect the produced particle or photon by the nuclear reaction or the backscattering] desirable. If the include angle to the ion beam of these detectors is a detectable include angle, it is arbitrary.

[0033] As 1 operation gestalt of the element quantitative-analysis approach of this invention, the element quantitative analysis in a silicon base material is mentioned as an example, and it explains along with the flow chart of drawing 1 . Here, the quantum of the boron poured into the silicon semi-conductor wafer by the nuclear reaction method is carried out.

[0034] [measurement of a sample] -- a test sample for chemical analysis-ed and the standard sample of the known impregnation concentration with which boron was injected into the silicon substrate by near concentration are chosen first (process S1). Therefore, in this example, the substrate (base material) of a standard sample and a test sample for chemical analysis-ed is the same.

[0035] A standard sample and a test sample for chemical analysis-ed are installed in the sample electrode holder 3 in the chamber 1 in which both detector DB for nuclear reaction methods and detector DA for back scattering spectroscopy were installed. After preparing a measurement environment by setting up a detector and carrying out vacuum suction for a chamber to 1×10^{-5} or less Torrs with a pump, Detectors DA and DB detect the alpha particle of the nuclear reaction origin which irradiated the proton beam and generated it as an ion beam in the sample, and the proton of the backscattering origin, respectively, and a nuclear reaction spectrum and a backscattering spectrum are measured (process S2). Induction of the nuclear reaction: $^{11}\text{B}(p, \alpha)^8\text{Be}$ alternatively expressed with a degree type to the boron in a sample by the exposure of a proton beam is carried out. Although the energy of the proton at this time has desirable 0.65MeV(s) which are resonance energies, it is arbitrary if a nuclear reaction is the energy by which induction is carried out. The detected particle is counted at any time with an arithmetic unit. Moreover, a charge is integrated measuring specimen current here, and if an addition value reaches the value set up beforehand, the exposure of a proton beam will be suspended. The higher possible one of the addition value of the charge set up here is desirable.

[0036] The concentration N1 of a [data input] standard sample is inputted into an arithmetic unit (process S3).

[0037] The quantum spectrum yield A1 and A2 of the standard sample computed by data processing of the spectrum data obtained by measurement and a test sample for chemical analysis-ed, the backscattering spectrum yield B1, and B-2 are acquired by the arithmetic unit (process 4).

[0038] A Measuring condition is inputted into an arithmetic unit (process S5). As a Measuring condition inputted, there are a base material constituent of a standard substance and a test sample for chemical analysis-ed, incidence ion beam energy, etc.

[0039] It judges whether the constituent of the base material of [data analysis] standard sample and a test sample for chemical analysis-ed is the same (process S6), and if the same, it will judge whether the isotope of a specified element is in a sample (process S7). If the constituent of a base material is not the same in a process S6, the backscattering cross section and the atomic consistency of a constituent of a standard sample and a test sample for chemical analysis-ed will be inputted, a backscattering area ratio and an atomic density ratio will be calculated by the arithmetic unit (process S8), and a process S7 will be performed next. [of a base material] In a process S7, if there is no isotope about a specified element, quantum count of the specified element of a test sample for chemical analysis-ed will be performed (process S9). When there is an isotope in a process S7, the abundance ratio alpha of the isotope detected by measurement is inputted (process S10), and process S9 is performed.

[0040] In process S9, $A2/A1$ is calculated and the exposure ratio X of a test sample for chemical analysis-ed to the standard sample of the actually irradiated proton beam is drawn from the quantum spectrum yield A1 and A2 of a standard sample and a test sample for chemical analysis-ed. By hanging inverse number $1/X$ of X on nuclear reaction spectrum yield B-2 of a test sample for chemical analysis-ed, nuclear reaction spectrum yield $B-2' = B-2/X$ in the conditions which amended the beam exposure to a standard sample and tales doses are obtained. furthermore, this $B-2/X$ -- the nuclear reaction spectrum yield B1 of a standard sample -- **** -- the ratio of concentration Y of a test sample for chemical analysis-ed to a standard sample is obtained by things. And N1 which is the concentration of a standard sample is hung on this Y, and, finally N2 is outputted as concentration of a test sample for chemical analysis-ed (process S11). Any of field concentration, volume concentration, or an ion-implantation dose are sufficient as the concentration at this time.

[0041] In the above-mentioned approach, when the constituents of a base material differ, using the ratio calculated from the value inputted in a process S8, the quantum value of the specified element of a test sample for chemical analysis-ed is computed by said formula (5), and it is outputted.

[0042] Moreover, although the above-mentioned approach is the approach of computing the field concentration of isotope ^{11}B of boron, when other isotopes, for example, ^{10}B , are included in the test sample for chemical analysis-ed

and it turns out that the relative isotopic abundance is the same as natural abundance, the isotopic ratio is beforehand inputted into an arithmetic unit in a process S10, and the quantum value of the specified element of a test sample for chemical analysis-ed is computed and outputted according to said formula (6).

[0043]

[Example] Hereafter, with reference to an example and the example of a comparison, this invention is further explained to a detail.

[0044] (Example 1) SiO₂ film of 5nm of thickness was formed to the silicon semi-conductor wafer of 8 inches of quantitative analyses of the boron by the nuclear reaction method, and the sample which aimed at the dose of about 1.0×10^{15} /cm², and carried out the ion implantation of the 11B with the energy of 0.2keV(s) into this SiO₂ film was prepared. The center section of the silicon wafer which poured in this 11B ion was cut to abbreviation 1cmx1cm using the diamond cutter. Then, in order to remove cutting waste, the nitrogen blow was performed to two pieces of samples.

[0045] Moreover, the standard sample to which 11B is injected into the front face of a silicon semi-conductor wafer with the dose of 1.00×10^{15} /cm² with the energy of 5keV(s) was prepared as a standard sample, it cut to abbreviation 1cmx1cm similarly, and cutting waste was removed.

[0046] The test sample for chemical analysis-ed and standard substance of 1cm angle which were started have been arranged in a nuclear reaction analysis chamber, and vacuum suction was carried out until this chamber was set to 1×10^{-6} Torr with the vacuum pump. Next, when the proton beam accelerated by 0.65MeV(s) with the tandem accelerator was irradiated at the standard sample, induction of the nuclear reaction was carried out by the part and proton of 11B which are contained in a sample, and the alpha particle was emitted out of the sample. Moreover, the backscattering of a part of proton irradiated by coincidence was carried out by elastic scattering with Si atom which constitutes a substrate. The semiconductor detector installed in the location of 160 degrees to the incidence ion beam detected the alpha particle emitted by the nuclear reaction, and the proton by which the backscattering was carried out was detected by the semiconductor detector installed in the location of 150 degrees to the ion beam, respectively. Moreover, distance of these detectors and samples was set to 8cm. Specimen current was measured and the exposure of an ion beam was suspended in the place where the amount of charges became 50microC (microcoulomb). It measured on the same conditions as the above also to the test sample for chemical analysis-ed.

[0047] The backscattering spectrum of a standard sample and a test sample for chemical analysis-ed seemed to be drawing 3. When the count of 100-200 channels was calculated with the arithmetic unit among the peaks from the silicon substrate which is the common peak of both samples, it became 48325 counts by the standard sample, and became 47228 counts by the test sample for chemical analysis-ed. Furthermore, the ratio of a test sample for chemical analysis-ed to the standard sample of the actually irradiated amount of charges was drawn from these values with 0.977. The nuclear reaction spectrum of a standard sample and a test sample for chemical analysis-ed seemed to be drawing 4. Similarly, when the count of 100-300 channels was calculated with the arithmetic unit, it became 1642 counts by the standard sample, and became 1570 counts by the test sample for chemical analysis-ed. From these values and the value 0.977 acquired by the above, the dose quantitative ratio of a test sample for chemical analysis-ed to a standard sample was outputted with 0.979. Finally by spending 1.00×10^{15} /cm² of doses of a standard sample on this value, the dose of 11B of a test sample for chemical analysis-ed was outputted with 9.79×10^{14} /cm².

[0048] (Example 1 of a comparison) About the measurement result of the quantum example 1 by the conventional method, quantum evaluation was performed only by the nuclear reaction spectrum of drawing 4 with the conventional method.

[0049] The concentration of a test sample for chemical analysis-ed serves as 9.56×10^{14} /cm² from 1.00×10^{15} /of known concentration cm² of 1642 counts of a standard sample, 1570 counts of a test sample for chemical analysis-ed, and a standard sample by count of $x(1570 \text{ count} / 1642 \text{ count}) 1.00 \times 10^{15}$ /cm². It is clear that this value's error with a true value is included by gap of the actual ion beam exposure of both samples so that the backscattering spectrum of drawing 3 may see.

[0050] (Example 2) The wafer sample which formed the silicon nitride (SiN) film of 20nm of thickness was prepared for the quantitative-analysis silicon semi-conductor wafer of the hydrogen in the silicon nitride film by elastic recoil dispersion spectroscopy. The center section of this silicon wafer was cut to abbreviation 1cmx4cm using the diamond cutter. Then, in order to remove cutting waste, the nitrogen blow was performed to two pieces of samples.

[0051] Moreover, as a standard sample, the silicon nitride film of 20nm of thickness is formed to the silicon semi-conductor wafer, and the sample by which hydrogen is contained by the field concentration of 5.00×10^{16} /cm² in the film was prepared. The test sample for chemical analysis-ed and standard substance which were started have been arranged in the analysis chamber for elastic recoil dispersion spectroscopy, and vacuum suction was carried out until this chamber was set to 1×10^{-6} Torr with the vacuum pump. Next, when the helium ion (helium++) beam accelerated by

2.4MeV(s) with the tandem accelerator was irradiated at the standard sample, hydrogen was emitted by elastic recoil dispersion with the hydrogen and the incidence helium ion which are contained in a sample out of the sample. Moreover, the backscattering of a part of helium ion beam was carried out to coincidence by elastic scattering with the silicon atom which constitutes a substrate. Moreover, the backscattering of some helium ion irradiated by coincidence was carried out by elastic scattering with the silicon atom which constitutes a substrate. Then, the semiconductor detector installed in the location of 20 degrees to the incidence ion beam detected the hydrogen atom emitted by elastic recoil dispersion, and in order for the helium ion by which a backscattering is carried out to prevent carrying out incidence to a detector, the 10-micrometer Mylar film was installed ahead [detector]. Moreover, the semiconductor detector installed in the location of 160 degrees to the ion beam detected the proton by which the backscattering was carried out. Moreover, distance of these detectors and samples was set to 8cm. The exposure of an ion beam was suspended in the place where specimen current was measured at and the amount of charges became 30microC (microcoulomb). Moreover, it measured on the same conditions as the above also to the test sample for chemical analysis-ed.

[0052] It became like drawing 5 about the backscattering spectrum of a standard sample and a test sample for chemical analysis-ed. When the count of 150-250 channels was calculated with the arithmetic unit among the peaks from the silicon substrate which is the common peak of both samples, it became 548547 counts by the standard sample, and became 519938 counts by the test sample for chemical analysis-ed. Furthermore, the ratio of a test sample for chemical analysis-ed to the standard sample of the actually irradiated amount of charges was drawn from these values with 0.948. The elastic recoil scattered spectrum of a standard sample and a test sample for chemical analysis-ed became like drawing 6. Similarly, when the count of 180-220 channels was calculated with the arithmetic unit, it became 8317 counts by the standard sample, and became 5836 counts by the test sample for chemical analysis-ed. From these values and the value 0.948 acquired by the above, the dose quantitative ratio of a test sample for chemical analysis-ed to a standard sample was outputted with 0.740. Finally by applying 5.00×10^{16} /of hydrogen side concentration cm^2 of a standard sample to this value, the hydrogen side concentration of a test sample for chemical analysis-ed was outputted with 3.70×10^{16} -/ cm^2 .

[0053] (Example 2 of a comparison) About the measurement result of the quantum example 2 by the conventional method, quantum evaluation was performed only with the elastic recoil scattered spectrum of drawing 6 with the conventional method.

[0054] The hydrogen side concentration of a test sample for chemical analysis-ed serves as 3.51×10^{16} -/ cm^2 from 5.00×10^{16} /of known side concentration cm^2 of 8317 counts of a standard sample, 5836 counts of a test sample for chemical analysis-ed, and a standard sample by count of $x(5836 \text{ count} / 8317 \text{ count}) 5.00 \times 10^{16}$ -/ cm^2 . It is clear that this value's error with a true value is included by gap of the actual ion beam exposure of both samples so that the backscattering spectrum of drawing 5 may see.

[0055] (Example 3) In the quantitative analysis of the boron by the quantitative-analysis nuclear reaction method of a sample including an isotope, what boron exists by concentration uniform in depth of 2 micrometers from a front face in germanium semi-conductor wafer as a test sample for chemical analysis-ed about the sample which contains isotope ^{10}B of boron by relative isotopic abundance in a different base material from a standard sample, and contains isotope ^{10}B by relative isotopic abundance was prepared. Moreover, it was with the standard sample and ^{11}B prepared for a depth of 2 micrometers what exists by the concentration of 1.00% of atomic ratios at homogeneity from the front face into the silicon semi-conductor wafer.

[0056] Measurement was performed on the same conditions as an example 1 except having performed incidence energy by 1.0MeV(s). Backscatterings cross-section $\sigma_{\text{Si}}=0.2909\text{barns}$ of the silicon to the proton of atomic consistency $U_{\text{Si}}=5.00 \times 10^{22} \text{ atoms/cm}^3$ of silicon and germanium, $U_{\text{Ge}}=4.42 \times 10^{22} \text{ atoms/cm}^3$, incidence energy =1.0MeV, and 1MeV in 150 degrees of detection angles and germanium and $\sigma_{\text{germanium}}=1.523\text{barns}$ were inputted as a Measuring condition and sample conditions after measurement. Furthermore, backscattering spectrum yield $A_{\text{Si}}=1305$ count from a front face to [from measurement data] 50nm and $A_{\text{Ge}}=5439$ count were computed about the standard substance and the test sample for chemical analysis-ed, and the gap of the ion beam exposure by the backscattering spectrum yield from a base material was amended. Under the present circumstances, the ion beam exposure ratio X of a standard substance to a test sample for chemical analysis-ed was taken as the value computed by silicon and the atomic consistencies U_{Si} and U_{Ge} of germanium, backscattering cross-section σ_{Si} , $\sigma_{\text{germanium}}$, and the backscattering spectrum yield A_{Si} and A_{Ge} according to the following formula.

[0057]

$$X = (A_{\text{Si}} - \sigma_{\text{germanium}} - U_{\text{Ge}}) / (A_{\text{Ge}} - \sigma_{\text{Si}} - U_{\text{Si}})$$

Consequently, $X = 1.11$ was outputted. On the other hand, the nuclear reaction spectrum yield B_{Si} and B_{Ge} of a

standard substance and a test sample for chemical analysis-ed was respectively computed with BSi=892 count and BGe=731 count from measurement data, and the concentration of ^{11}B contained in a test sample for chemical analysis-ed was computed with $x(731 \text{ count} / 892 \text{ count})1.11 \times 1.00\% = 0.91\%$. Finally from this value, the quantum of the boron concentration of a test sample for chemical analysis-ed was carried out to 1.12% by calculating $0.91\% / \alpha$ using the relative isotopic abundance $\alpha = 0.81$ of ^{11}B .

[0058]

[Effect of the Invention] As explained above, according to the configuration of this invention, a quantum with few errors can be made possible by amendment of a gap of the amount of ion irradiation, and element quantitative analysis in the conventionally difficult semi-conductor wafer can be carried out in a very high precision.

[Translation done.]

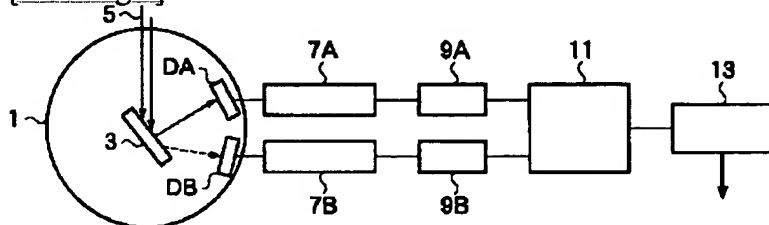
* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

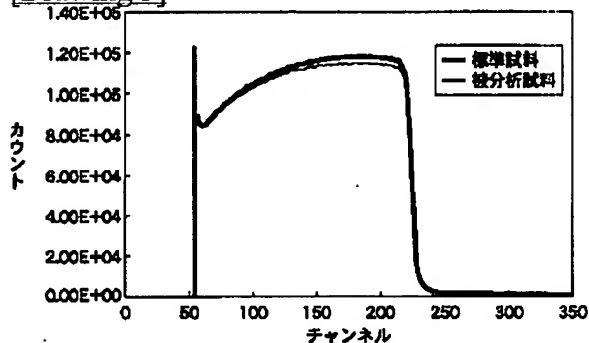
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

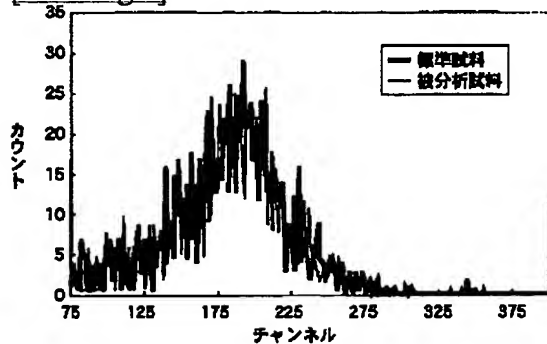
[Drawing 1]



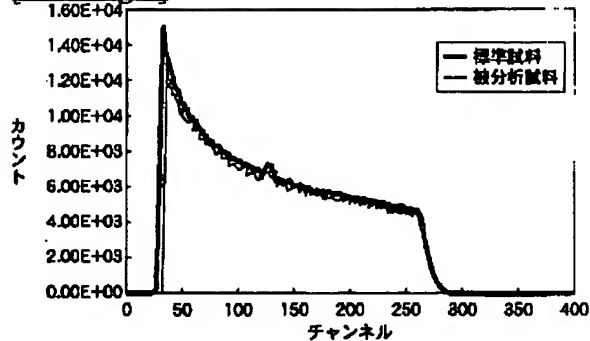
[Drawing 3]



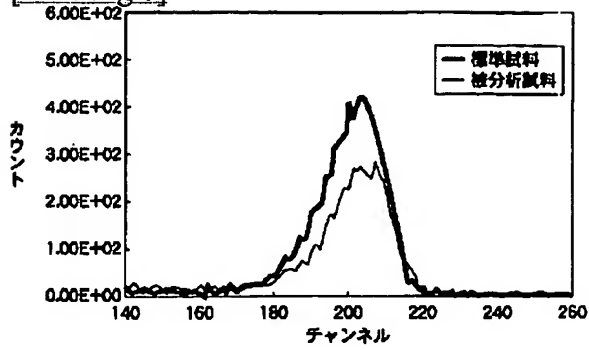
[Drawing 4]



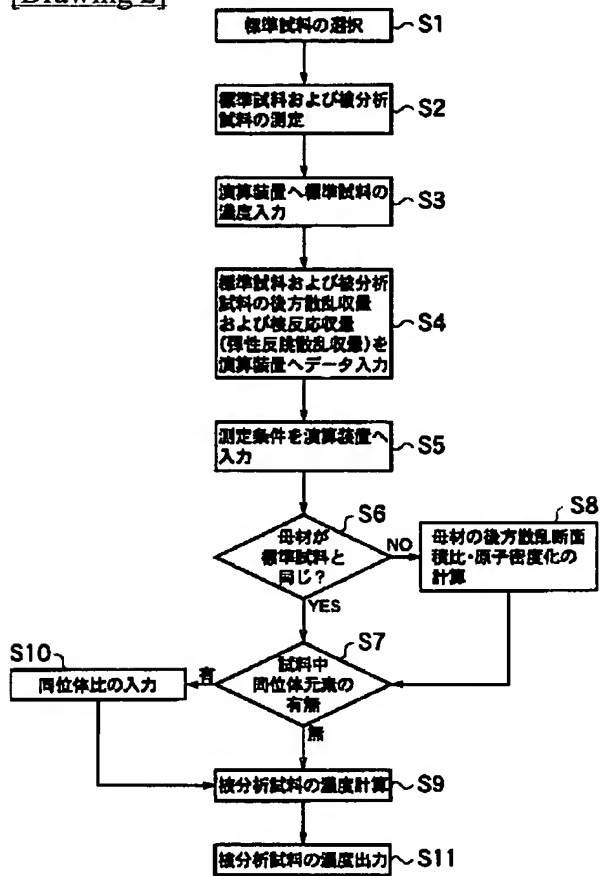
[Drawing 5]



[Drawing 6]



[Drawing 2]



[Translation done.]